

Giuseppe Di Silvestro, Hermes Farina, Marco Aldo Ortenzi, Cuiming Yuan, Luca Basilissi
Dipartimento di Chimica
Università di Milano
giuseppe.disilvestro@unimi.it

MATERIALI INNOVATIVI E FUNZIONALI DI INTERESSE INDUSTRIALE

Nell'articolo vengono presentati i recenti brevetti su poliammidi antifiamma e PLA a struttura complessa insieme con i progetti finanziati dalla Fondazione Cariplo nei quali il gruppo è impegnato. Viene anche data una visione generale delle conoscenze del gruppo, specie sui metodi di controllo della struttura dei polimeri, attivo da anni nell'area dei polimeri di interesse industriale e di alcuni risultati connessi a collaborazioni con aziende del settore.

La perdurante crisi economica impone alle aziende la ricerca di nuovi mercati cui proporre prodotti o soluzioni innovative a più basso impatto ambientale; d'altra parte, la costante decrescita dei finanziamenti pubblici alle università spinge queste ultime a cercare o a rafforzare i rapporti con il mondo esterno. Questa valutazione è valida in special modo nel settore dei materiali polimerici, in cui si assiste a questa duplice realtà. Da una parte le grandi aziende hanno la necessaria cultura di base, ma l'innovazione va fatta tenendo conto dei grandi volumi di produzione di prodotti a basso valore aggiunto e per i quali la concorrenza è soprattutto con i Paesi emergenti (si pensi alle poliolefine prodotte nei Paesi del Golfo proprietari del petrolio grezzo di partenza); al contrario, le PMI hanno spesso alta capacità di adattamento ma scarsa cultura di base, essenziale per fare innovazione in concorrenza con i Paesi dell'Estremo Oriente che investono moltissimo in ricerca di base ed applicata.

Da queste convinzioni nacque la presentazione fatta dal nostro gruppo alla giornata "Incontro con l'Università, il CNR, l'Industria" - Milano, 28

febbraio 2013, promossa ed organizzata dal Dipartimento di Chimica dell'Università di Milano, in cui il nuovo Dipartimento Chimico e le componenti del CNR presenti in esso incontrarono le aziende. In questo articolo seguiremo le tracce di quell'intervento, presentando la cultura di base presente storicamente nel gruppo e le più recenti collaborazioni con gruppi di ricerca accademici ed industriali; particolare risalto sarà data alla lunga collaborazione con la Snia/Rhodia, perché questa ci permette di ottimizzare un rapporto tra università ed industria che ha dato ottimi risultati negli ultimi vent'anni.

Basi della cultura in chimica macromolecolare all'Università di Milano

L'inizio della Chimica Macromolecolare all'Università di Milano si ebbe con l'arrivo del prof. Mario Farina nel 1971. Farina era uno dei collaboratori del prof. Natta e portò in università, nella didattica e nella ricerca, gli elementi caratterizzanti di quella che è stata definita la "Scuola Natta", che in quel momento era leader indiscussa nel campo delle polimeriz-

Relazione presentata alla giornata "Incontro con l'Università, il CNR e l'Industria - VIII Edizione". Milano, 28 febbraio 2013.



Fig. 1 - Il gruppo di Natta festeggia il premio Nobel. Il giovane Farina è l'ultimo a destra

zazioni stereospecifiche, cioè nel controllo del modo di crescere della catena polimerica (Fig. 1). Natta chiedeva e dava ai suoi collaboratori un elevato rigore scientifico, una capacità di vedere le potenziali ricadute industriali dei risultati e, dal punto di vista della formazione alla ricerca, la capacità di lavorare in gruppo e, contemporaneamente, cercare aree di ricerca innovative e personali.

È del '63 la scoperta da parte di Farina del peridrotifenilene (PHTP), nato per avere un criterio predittivo della possibilità di ottenere polimeri stereoregolari ed otticamente attivi dallo studio degli oligomeri ciclici del monomero [1]. Ma il PHTP (Fig. 2) ebbe ricadute culturali diverse e per lungo tempo: esso fu la prima molecola organica con assi di simmetria ad essere risolta nei due antipodi ottici. All'epoca non si aveva alcun modello teorico che ne prevedesse l'esistenza, come pure il valore del potere rotatorio osservato [2, 3].

Un'altra ricaduta era legata alla possibilità che aveva il PHTP di costruire composti di inclusione con molecole potenzialmente polimerizzabili [4]: furono ottenuti diversi polidieni stericamente ordinati [5, 6], fu eseguita la prima polimerizzazione radicalica vivente per la quale fu coniato il concetto di induzione asimmetrica attraverso lo spazio [7, 8] e, soprattutto, quei polimeri sono esempio, ora scolastico, per l'interpretazione degli spettri NMR di polidieni a struttura complessa [9, 10]. Con Farina si studiò la termodinamica dei composti di inclusione la cui applicazione è possibile anche in sistemi non contenenti il PHTP [11-13].

Il risultato accademico di gran lunga più interessante fu la sintesi del polipropilene emiisotattico [14-16]; il suo spettro ^{13}C NMR è uno degli spettri essenziali per il riconoscimento della microstruttura del polipropilene [17-18], ma esso fu il punto di contatto tra i polipropileni ottenuti con i classici catalizzatori derivati dal brevetto originario di Natta ed i catalizzatori metallocenici. John Ewen riconobbe la microstruttura di polipropilene emiisotattico in un suo polimero ottenuto con un particolare ca-

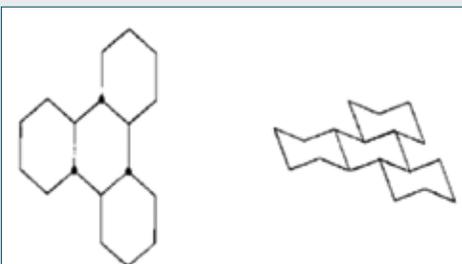


Fig. 2 - Struttura del PHTP

talizzatore metallocenico dal confronto del suo spettro NMR con quello da noi pubblicato. Il polipropilene emiisotattico è stato definito la chiave di volta per la comprensione del meccanismo di crescita della catena con i nuovi catalizzatori [19-18].

L'ultimo contributo di Farina alla stereochemica macromolecolare fu la proposta di un criterio predittivo della microstruttura del polipropilene prendendo in considerazione la stereochemica del sito catalitico (la chiralità), l'effetto della chiralità dell'ultima unità di propilene entrata in catena e la presenza della cosiddetta *skipped insertion* (inserzione mancata) [20]. Il modello matematico costruito su queste basi puramente stereochemiche permette di effettuare una misura quantitativa degli elementi di controllo della crescita della catena a partire dall'analisi qualitativa e quantitativa dello spettro ^{13}C NMR del polimero ottenuto.

Farina morì nel luglio del 1994 a soli 64 anni e non vide la verifica sperimentale di questa proposta, il cui studio costituisce, anche per gli studenti più preparati, un banco di prova non facile per la comprensione di dettaglio di qualunque modello di crescita della catena polimerica [21-23]. Un altro banco è lo studio dei lavori e delle review di Farina sulla stereochemica dei polimeri [24-28]; la review del 1987 è ancora considerata di riferimento per qualsiasi approccio alla stereochemica macromolecolare.

Farina iniziò a lavorare con Natta nel 1954 e fece parte del gruppo di giovani laureati che la Montecatini selezionava a livello nazionale per formarli alla ricerca. Egli fu tra quelli che Natta scelse come suo collaboratore per la carriera accademica. Questo ingresso nel mondo del lavoro costituì per Farina una linea di condotta nel rapporto con le aziende: ad esse Farina diede sempre il meglio della sua cultura, ne formò i ricercatori ma dalle aziende accettò stimoli sia per la didattica sia per la ricerca. Ovviamente i risultati scientifici delle collaborazioni non furono pubblicati se non con poche eccezioni.

Una significativa è quella con l'allora Max Mayer che aveva chiesto un modo per ottenere vernici ad alto solido; le vicissitudini economiche dell'azienda non portarono all'industrializzazione dei risultati, che invece furono oggetto di un approfondimento accademico: si ottennero per la prima volta polimeri a stella con processo radicalico e si propose un metodo per studiare la crescita della catena copolimerica usando la gascromatografia accoppiata alla spettrometria di massa [29, 30]. Il modello può essere usato per una sintesi razionale di prepolimeri funzionali. La collaborazione più significativa per il modo di collaborare tra università ed industria è stata quella con la Snia/Rhodia; iniziò nel 1973 e fu chiusa in coincidenza con la chiusura del Centro Sperimentale di

Ceriano Laghetto. In altra occasione è stato illustrato uno dei risultati accademici ed industriali di questa collaborazione e qui viene ripreso in parte perché utile nel prosieguo [31]. Il modello da noi sviluppato [32] è in grado di stimare la distribuzione delle specie presenti in un policondensato a stella (Fig. 3, polimero con 6 braccia) ottenibile per policondensazione d'equilibrio di un monomero di tipo AB (per esempio caprolat-

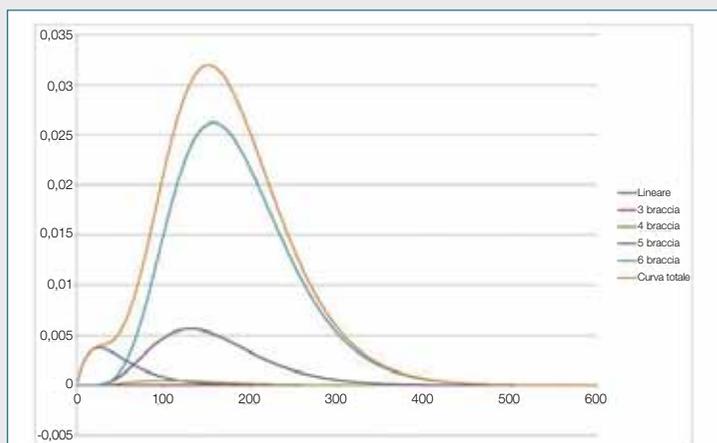


Fig. 3 - Distribuzione delle specie in un policondensato a stella a 6 braccia

tame, lattidi, lattoni ecc.) e mostra che, anche a conversione elevata dei gruppi funzionali, il polimero presenta una complessità composizionale molto maggiore di quanto sino allora indicato sia dalla trattazione di Flory [33] che in quella più semplificata di Farina [34]. Nella figura la curva in alto presenta la distribuzione complessiva del campione mentre le altre curve danno i contributi specifici delle specie a 3-6 braccia e quello delle specie lineari ancora presenti. Il modello fu verificato con lo studio degli oligomeri ma, soprattutto, fu indispensabile nella fase di sviluppo industriale del Technylstar, commercializzato dalla Rhodia nel 2000. Lo sviluppo industriale fu ottenuto in soli cinque anni dal brevetto e questo fu premiato nel 2002 con il premio Siemens per l'innovazione tecnologica. L'aspetto più interessante è il seguente: lo sviluppo di un modello teorico di crescita di una catena polimerica è un lavoro tipicamente accademico, ma questo lavoro fu stimolato e reso necessario per l'innovazione tecnologica del materiale e può essere usato in molti altri casi [35].

Il modello è di validità generale e può essere usato, ad esempio, per razionalizzare il comportamento reologico o meccanico dei polimeri a stella da policondensazione in quanto, per ogni campione ottenuto, è possibile, dall'alimentazione usata, dal tipo e dalla quantità di regolatore multifunzionale impiegato e dalla conversione ottenuta nel processo, calcolare la composizione in termini di quantità e di caratteristiche macromolecolari delle specie componenti il materiale. Un'ultima notazione importante è la seguente: policondensati a struttura lineare, policondensati a stella, in accordo con il modello sopraesposto, e policondensati a struttura ad albero statistico, in accordo con un altro modello di crescita di catena da noi sviluppato, possono essere ottenuti nello stesso impianto usato per il polimero lineare; da ciò deriva una forte riduzione di impatto ambientale complessivo ed un significativo risparmio di risorse.

Recenti collaborazioni accademiche ed industriali del gruppo

L'impianto culturale del gruppo è normalmente impiegato sia nelle collaborazioni accademiche sia con le aziende. Sommarariamente saranno ora descritti gli obiettivi di tre

progetti finanziati dalla Fondazione Cariplo nell'ultimo biennio e di una collaborazione con una piccola azienda.

Il primo progetto (Organic and Hybrid Nanostructures for Solar Energy Conversion (SOLCO)) è coordinato da Chiara Botta del CNR di Milano ed ha l'obiettivo di verificare l'interazione fotoottica tra una struttura inorganica (un *quantum dot*) con un altro sistema, organico, costituito da un composto di inclusione tra una ciclodestrina ed un opportuno dye. Il progetto nacque dalla scoperta che in un composto di coinclusione di differenti ed opportuni dye in PHTP è possibile avere un processo fotoottico di trasferimento energetico per cui luce a maggiore energia può essere convertita in quella a minore energia ma trasferibile, ad esempio, ad una cella fotovoltaica [36, 37]. La Fig. 4 illustra come avviene questo processo in un coincluso del PHTP. La razionalizzazione del processo fotoottico deriva dallo studio della termodinamica dei composti di inclusione dei monomeri che era stata usata per la comprensione della polimerizzazione allo stato incluso e dallo studio degli spettri di assorbimento e di emissione dei singoli addotti PHTP/dye.

Il secondo progetto (Biodegradable Polymers with Controlled Macromolecular Architecture as New Polyfunctional Agent for ^{19}F NMR Imaging) è coordinato da Maurizio Benaglia e si propone di ottenere una struttura polimerica complessa (Fig. 5 a sinistra) in grado di avere legati sia principi attivi che molecole fluorurate usate come traccianti in NMR Imaging del ^{19}F (Fig. 5 a destra). In questo progetto si realizzava l'interazione interdisciplinare tra polimeristi in grado di progettare e costruire strutture polimeriche complesse e definite, chimici organici esperti nella chimica del fluoro con un gruppo del Mario Negri che misurava l'efficienza della risposta in NMR imaging e la compatibilità biologica della struttura.

Il terzo progetto (Non Fluorinated Polymeric Membranes and Platinum Free Catalytic System for Fuel Cells (PEMFCs) with Low Cost and High Efficiency) è coordinato da Di Silvestro ed ha come obiettivo lo studio di membrane polimeriche non fluorurate in grado di operare in celle a combustibile a temperature superiori a quelle del Nafion. Queste strutture polimeriche potrebbero essere combinate con catalizzatori di riduzione dell'ossigeno non contenenti metalli nobili sviluppati, ed ora brevettati,

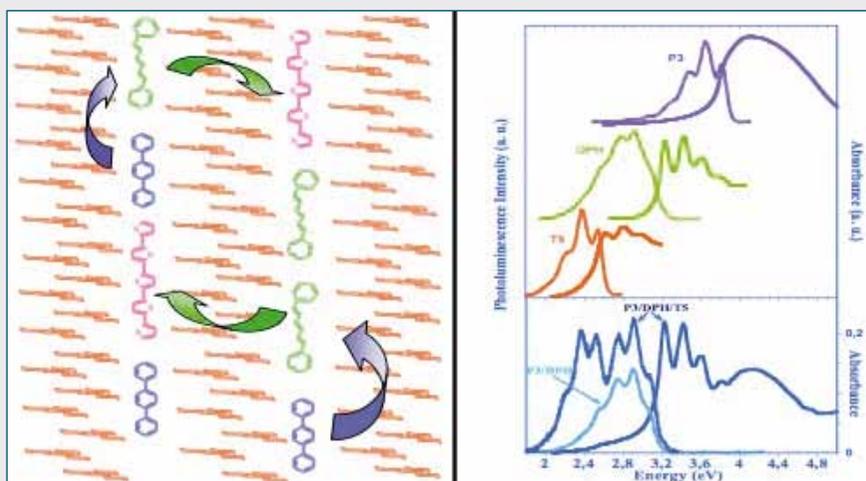


Fig. 4 - Rappresentazione del processo di trasferimento di energia in un composto di inclusione (a sinistra) e spettri di eccitazione e di luminescenza dei singoli addotti (a destra)

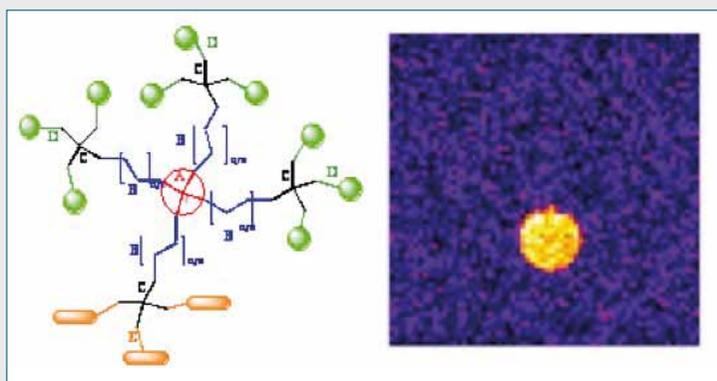


Fig. 5 - Struttura obiettivo (a sinistra) ed esempio di NMR imaging del ^{19}F ottenuto

dal gruppo di Leonardo Formaro e di Mariangela Longhi. Per ragioni di riservatezza la Fig. 6 presenta solamente la struttura polimerica complessa progettata: essa è costituita da due reticoli polimerici interpenetrati costituiti uno su base polisilossanica e l'altro da un copolimero organico la cui struttura è ad elevata stabilità chimica e termica. Ambedue i componenti (polisilossanica ed organica) contribuiscono alla stabilità termica ed alla conducibilità ionica necessaria per il funzionamento della cella. Alcune delle strutture copolimeriche ottenute sono nuove, presentano possibilità applicative anche in ambiti diversi dalle fuel cell e ne è prevista la brevettazione.

Tra le collaborazioni con le aziende, ci sembra rappresentativa quella attiva con la Policrom Screens di Carvico. La Policrom prepara membrane polimeriche che poi vengono usate nel trasferimento di immagine con la tecnologia detta "sublimatica". La formulazione della membrana era frutto di aggiustamenti successivi e di composizione piuttosto complessa; questa complessità non derivava dalla necessità di avere proprietà ben definite ma, come in molte PMI, da aggiustamenti di cui si perde nel tempo la memoria. La necessità della Policrom era quella di trovare una razionalità nel processo sublimatico per arrivare ad una formulazione gestibile razionalmente ed economicamente vantaggiosa. La collaborazione con l'azienda è stata, per noi, estremamente istruttiva ed interessante in quanto si sono visti potenzialità e limiti del processo sublimatico, si è trovata una formulazione più semplice e modificabile con la dovuta razionalità e con il risultato, non trascurabile, di aumentare la produttività delle macchine.

In quest'ultima parte saranno presentati brevemente i risultati, brevettati e di cui l'Università di Milano ha la proprietà industriale, riguardanti nuovi polimeri antifiamma e PLA con struttura complessa e proprietà migliorate.

È nota la tacita polemica tra chimica verde rispettosa dell'ambiente e chimica non verde che sarebbe colpevole dell'inquinamento ambientale o di altri misfatti. Come per le altre scienze, la chimica è un insieme di regole da conoscere, di per sé neutrali e sta al chimico

ed all'utilizzatore farne un uso ambientalmente sostenibile o criminale. Come conseguenza di una maggiore sensibilità verso l'ambiente, nel campo dei materiali polimerici si sta diffondendo l'idea che bisogna tener conto di tutti i costi che, direttamente o indirettamente, vengono scaricati sull'ambiente in tutta la vita del polimero, sia esso da fonte naturale o dal petrolio; produrre, trasformare, riciclare o smaltire un polimero ha un costo in energia e, di conseguenza un costo per l'ambiente. Un polimero ideale dovrebbe perciò derivare da fonte rinnovabile, essere riutilizzabile infinite volte e, a fine vita, essere compostabile. Poiché non esiste un siffatto polimero ideale, bisogna trovare l'equilibrio tra le proprietà necessarie al materiale ed il suo impatto globale sull'ambiente.

Gli esempi che brevemente illustreremo, nascono dalla combinazione di questo approccio più ampio verso l'ambiente con la capacità di costruire strutture polimeriche complesse ed ottenibili nei normali processi produttivi; due articoli illustrativi di questi risultati sono in preparazione per la pubblicazione su *La Chimica e l'Industria*.

Il primo esempio (WO2012080304, Star- and Tree-Shaped Branched Polymers Having Flame-Retardant Properties) si riferisce, in particolare, a nylon antifiamma. Le attuali formulazioni antifiamma prevedono l'impiego di quantità significative di additivi (organici od inorganici) che influenzano le proprietà del polimero, ne rendono difficoltoso il riutilizzo e il cui smaltimento finale può essere problematico. In aggiunta, gli additivi organici possono, in qualche modo, migrare verso l'esterno del polimero ed inquinare l'ambiente a contatto.

Il nostro materiale supera queste difficoltà poiché la quantità di specie molecolare che imparte la proprietà antifiamma è molto inferiore rispetto agli additivi ora usati, è legata al polimero e, di conseguenza, non può dare problemi di migrazione. Il polimero può essere prodotto con le attuali tecnologie e, data la bassa quantità di specie attiva usata, anche le altre proprietà di interesse tecnologico rimangono sostanzialmente non modificate, con l'interessante conseguenza che il polimero tal quale potrebbe essere riutilizzato molte volte ed alla fine della sua vita non

porre problemi di smaltimento diversi da quelli del nylon vergine. Il polimero da solo ma anche sue miscele con nylon vergine dà ottimi risultati agli usuali test antifiamma (UL-94, GWFI, GWIT) senza la necessità di dover introdurre additivi.

Il secondo esempio si riferisce all'acido polilattico; il PLA si ottiene da fonte rinnovabile ed è biodegradabile. Queste due proprietà lo avvicinano al polimero ideale ma, chiunque abbia avuto a che fare con questo polimero, o per interessi accademici o per cercare lo sviluppo industriale, si è imbattuto anche con la scarsa stabilità termica, il difficile controllo del processo di cristallizzazione in fase di lavorazione e con le non brillanti proprietà meccaniche. Tutto ciò impone l'uso di additivi vari che ne facilitino le applicazioni, soprattutto nel campo dell'imballaggio.

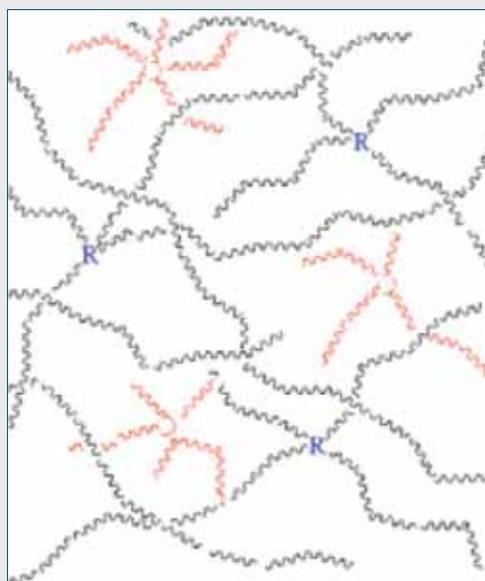


Fig. 6 - Struttura IPN progettata per il progetto

La soluzione da noi trovata (WO2013008156, Branched Lactic Acid Polymers with High Viscosity in the Molten State and High Shear Sensitivity, and Nanocomposites Thereof) è simile nella sua logica a quella dei nylon antifiamma: la struttura del polimero deve essere modificata quel tanto che basta per soddisfare la proprietà (o le proprietà) richiesta usando piccole quantità di modificanti che possano inserirsi nella struttura stessa del materiale e che, pertanto, non possono essere perduti con il tempo o con il riuso del materiale. Si possono sintetizzare, nelle usuali condizioni di processo, differenti PLA ad elevato peso molecolare ma con comportamento diverso per le differenti applicazioni e quindi, ad esempio, adatti allo stampaggio ad iniezione grazie alla bassa viscosità del fuso e all'ottima capacità di cristallizzare. In aggiunta, un incremento nella stabilità termica è di aiuto nei processi di trasformazione sia qualora

si voglia usare questi materiali per applicazioni nell'imballaggio che in processi di stampaggio.

Conclusioni

È stata presentata una visione a largo raggio delle competenze accademiche e delle collaborazioni industriali del gruppo. Le competenze accademiche del gruppo affondano le radici nella "Scuola di Natta" attraverso Mario Farina, con cui Di Silvestro collaborò dal 1970 sino alla morte di Farina nel 1994. Le esperienze di collaborazione con aziende iniziarono con Farina e sono proseguite negli anni, dando alle aziende i frutti della cultura interdisciplinare sviluppata nello studio dei metodi di controllo della crescita delle catene polimeriche in tutti i suoi aspetti e ricevendo da esse gli stimoli necessari per aprire l'università al mondo produttivo e produrre insieme innovazione.

Bibliografia

- [1] M. Farina, G. Natta, *Tetrahedron Lett.*, 1963, 2097.
- [2] G. Natta, M. Farina, *Tetrahedron, Lett.*, 1963, **11**, 703.
- [3] M. Farina, G. Audisio, *Tetrahedron*, 1970, **26**(8), 1827.
- [4] M. Farina, G. Di Silvestro, P. Sozzani, in *Comprehensive Supramolecular Chemistry*, D.D. MacNicol, F. Toda, R. Bishop (Eds.), 1996, **6**, 371.
- [5] M. Farina *et al.*, *Macromolecules*, 1970, **3**(5), 475.
- [6] M. Farina, G. Audisio, G. Natta, *J. Am. Chem. Soc.*, 1967.
- [7] M. Farina, G. Di Silvestro, *J. Chem. Soc., Chem. Comm.*, 1976, **21**, 842.
- [8] M. Farina, G. Di Silvestro, P. Sozzani, *Makromol. Chem.-Rapid*, 1981, **2**(1), 51.
- [9] P. Sozzani *et al.*, *Macromolecules*, 1984, **17**(12), 2532.
- [10] P. Sozzani *et al.*, *Macromolecules*, 1984, **17**(12), 2538.
- [11] M. Farina, G. Di Silvestro, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2: Physical Organic Chemistry*, 1972-1999 (1980), **10**, 1406.
- [12] M. Farina, G. Di Silvestro, A. Colombo, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1986, **137**(1-4), 265.
- [13] M. Farina, G. Di Silvestro, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1988, Volume Date 1987, 161(Pt. B), 177.
- [14] M. Farina, G. Di Silvestro, P. Sozzani, *Macromolecules*, 1982, **15**(5), 1451.
- [15] M. Farina *et al.*, *Macromolecules*, 1985, **18**(5), 923.
- [16] M. Farina, G. Di Silvestro, P. Sozzani, *Prog. Pol. Sci.*, 1991, **16**(2-3), 219.
- [17] A. De Marco *et al.*, *Macromolecules*, 1989, **22**(5), 2154.
- [18] V. Busico, R. Cipullo, *Prog. Polym. Sci.*, 2001, **26**, 443.
- [19] M. Farina, G. Di Silvestro, P. Sozzani, *Macromolecules*, 1993, **26**(5), 946.
- [20] M. Farina, G. Di Silvestro, A. Terragni, *Macromol. Chem. Phys.*, 1995, **196**(1), 353.
- [21] G. Di Silvestro, P. Sozzani, A. Terragni, *Macromol. Chem. Phys.*, 1996, **197**(10), 3209.
- [22] G. Di Silvestro, in *Metallocene-Based Polyolefins*, J. Scheirs, W. Kaminsky (Eds.), 2000, **2**, 37.
- [23] G. Di Silvestro *et al.*, *J. Mol. Catal. A - Chem.*, 2003, **204-205**, 315.
- [24] G. Natta *et al.*, *Chimica e Industria*, 1961, **43**(2), 161.
- [25] M. Farina, *Chimica e Industria*, 1964, **46**(7), 761.
- [26] M. Farina, *Makromol. Chem.*, 1969, **122**, 237.
- [27] M. Farina, *Chimica e Industria*, 1986, **68**(1-2), 62.
- [28] M. Farina, *Top. Stereochem.*, 1987, **17**, 1.
- [29] C.M. Yuan, G. Di Silvestro, M. Farina, *Macromol. Theor. Simul.*, 1994, **3**(1), 193.
- [30] M. Farina, G. Di Silvestro, P. Sozzani, *Makromol. Chem.*, 1989, **190**(1), 213.
- [31] G. Di Silvestro *et al.*, *Chimica e Industria*, 2005, **87**(6), 44.
- [32] C.M. Yuan *et al.*, *Macromol. Chem. Phys.*, 2001, **202**(10), 2086.
- [33] a) P.J. Flory, *J. Am. Chem. Soc.*, 1936, **70**, 1877;
b) R. Scaefgen, P.J. Flory, *Phys. Chem.*, 1948, **70**, 2709.
- [34] R. Filippini, M. Fornaroli, M. Farina, VI Convegno Italiano di Scienza delle Macromolecole dell'AIM, 1979, 107.
- [35] H. Farina *et al.*, *Macromolecular Symposia*, 2004, 218 (Current Topics in Polymer Science and Technology), 51.
- [36] R. Bosisio *et al.*, *Synth. Met.*, 1997, **87**(1), 23.
- [37] G. Bongiovanni *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, 2001, **345**(5, 6), 386.

ABSTRACT

Functional Innovative Materials Having Industrial Interest

In a broad description of the skills present in the polymer group coordinated by prof. Giuseppe Di Silvestro at the University of Milan a special attention is devoted to the recent patents obtained in the field of Flame Retardant Polymers and of advanced PLA structures. A short description of some research projects granted by Fondazione Cariplo is also done.